

# COTS 技术在声呐装备中的应用

韩志斌<sup>1</sup>, 王鲁军<sup>2</sup>, 曾 浩<sup>1</sup>

(1. 海军装备研究院, 北京 100161; 2. 中国科学院声学研究所声场声信息国家重点实验室, 北京 100190)

**摘要:** 采用商业货架产品 (Commercial-Off-The-Shelf, COTS) 技术可使声呐系统具有更强的信号处理能力, 有效降低声呐研制与更新成本, 缩短声呐研制周期。分析了国外先进声呐系统上采用的 COTS 软硬件技术, 对 COTS 技术在声呐系统中的应用前景进行了分析和展望, 提出了我国声呐系统中 COTS 技术的重点研究方向, 以加快发展拥有自主知识产权的 COTS 软硬件技术, 提高我国海军声呐装备水平。

**关键词:** 声呐; COTS 技术; 海军装备

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-01-0065-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.01.014

## Application of COTS technology in sonar equipment

HAN Zhi-bin<sup>1</sup>, WANG Lu-jun<sup>2</sup>, ZENG Hao<sup>1</sup>

(1. Navy Academy of Armament, Beijing 100161, China;

2. State Key Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, China Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Sonar system with COTS technology is more capable of processing sonar signal, lowering sonar renewal cost and shortening the sonar development period. This paper analyzes the COTS technology in foreign advanced sonar systems, and then looks into the prospect of COTS technology in sonar application. Based on these, the paper puts forward the research direction of COTS technology in our sonar systems to accelerate the development of COTS technology with independent intellectual property rights and raise the level of our navy's sonar facilities.

**Key words:** Sonar; COTS technology; Naval Facilities

短研制周期, 降低设备成本。

## 0 引言

COTS(commercial-off-the-shelf)是商业货架产品的缩写, COTS 技术和产品主要是指符合工业标准并广泛应用于民用领域的、有别于专门按照军用标准开发的技术和组件<sup>[1]</sup>。美国国防部把 COTS 定义为在制造商的产品目录中以确定的价格出现, 并且可以直接由制造商或销售网络提供给任何公司或个人使用的市场上销售的产品。

在不影响主要作战性能和可靠性的前提下, 应用 COTS 技术和组件, 采用开放式标准有以下两个明显的优势: 一是通用化程度高, 兼容性好。通过采用开放式的技术标准和构架, 可以显著减少专用元器件、专用组件或模块以及专用软件的数量, 使得装备具有良好的兼容性, 便于扩充和升级。二是供货渠道畅通, 设备成本低。由于直接在商业货架产品中采购, 可以有畅通的购货渠道和良好的技术支持。同时, 由于采用了通用的成熟技术, 可以缩

## 1 声呐装备中应用 COTS 技术的背景

长期以来, 为了保证军用产品在特殊作战环境下的作战使用要求, 各国普遍制定了适合自己国家的军用规范和标准, 并作为依据对产品的组件选材、部件封装、设备冷却等方面进行设计, 这种方法的好处是可针对军用产品的特殊用途和工作环境进行设计, 保证其性能、质量和环境指标的可靠性, 但是该方式增加了技术难度, 加长了研制周期, 提高了研制经费和产品成本。由于研制和更新周期较长, 使得军用产品在使用一段时间后出现性能相对落后, 设备维修保障困难等问题。

90 年代之前, 各国声呐均采用定制的硬件、专用操作系统与接口。定制的硬件可靠性差, 编程难度大, 针对专用操作系统的驱动需要专门开发, 维修与升级费用较高。以美国为例, 为保持其潜艇声呐对敌安静型潜艇的探测优势, 从 80 年代初对潜艇声呐信号处理机专用硬件进行升级, 费用昂贵, 并呈现逐年上升的趋势。随着 90 年代各国经济形势日益严峻, 声呐专用软硬件的巨额费用使声呐发

收稿日期: 2012-10-08; 修回日期: 2013-01-05

作者简介: 韩志斌(1985—), 男, 河北邢台人, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为水声工程。

通讯作者: 韩志斌, E-mail: xuanhao5596@163.com

展陷入了瓶颈。

20 世纪 90 年代以后, 欧美军事大国开始改变军用设备过于追求高指标、高余量的做法, 积极寻求一种技术先进、性能优良、节约经费的军品开发研制新途径, 提出了“COTS”的概念, 包括声呐装备在内的很多军用产品开发中的关键技术逐渐由民用产品实现, 达到了节约成本和缩短开发周期的目的。采用 COTS 技术开发军用设备已逐渐成为军事装备发展的一个重要趋势。

## 2 国外声呐装备中 COTS 技术应用情况

90 年代初, 为降低声呐更新的成本, 保持在声呐探测领域的优势, 美国首先提出了“商用声学技术快速嵌入”(Acoustic Rapid COTS Insertion)计划<sup>[2]</sup>, 并逐步在美海军现有的声呐系统, 如“洛杉矶”级核潜艇上的 BQQ-5 和 BSY-1 型、“海狼”级核潜艇上的 BSY-2 型和“俄亥俄级”核潜艇上的 BQQ-6 型等声呐系统, 应用开放式体系结构和 COTS 技术, 以支持先进的信号处理算法, 实现对敌安静型潜艇的探测和跟踪。该计划的实施使潜艇部队可在不影响日常训练与战备行动的情况下定期更新软硬件。英国也提出了“声呐 COTS 技术快速插入计划”, 即 DeRSCI 计划<sup>[3]</sup>, 将开放式的结构标准引入声呐信号处理领域, 目的是通过在现有系统中集成 COTS 技术, 并支持中小企业的构件嵌入系统, 减少采购成本和全寿命周期成本。

### 2.1 声呐硬件 COTS 技术

在声呐装备硬件领域, 欧美新型声呐信号处理机采用多芯片结构, 每个芯片均选用商用处理芯片, 单模块的处理能力超过了 100GFLOPS。

过去, 多个信号处理芯片之间主要是用多端口的数据通讯 Link 通路来进行数据通讯, 形成多节点的信号处理机结构。由于背板交换的嵌入系统方案与日益增高的板间带宽要求和共享总线板间带宽资源有限的矛盾, 欧美国家开始对原来的 VME/cPCI 总线系统进行升级换代。军用设备集成商 Curtiss-Wright 与在 Vita Standards Organization 中工作的 COTS 行业领导者协作, 联合开发了新的 VPX 标准。VPX 可支持高速的互联及串行交换机结构, 提供现场可更换模块(Line Replaceable Module, LRM)级别的对板卡现场维护所需的坚固性, 极大降低了目前经常拆卸、更换子系统备件的成本和复杂性。

其它硬件设备如 COTS 显示器、COTS 数据记录仪等设备, 由于其升级改造快、维修方便的优势, 也在声呐系统硬件领域得到大量应用。

以美军声呐信号处理机为例, 应用 COTS 技术后, 更新速度大大加快。在整个“商用声学技术快速嵌入”计划中, 声呐信号处理机已完成五代更新, 信号处理能力总共提高近 200 倍, 而经费开支只相当于原来的 1/10, 如图 1 所示。

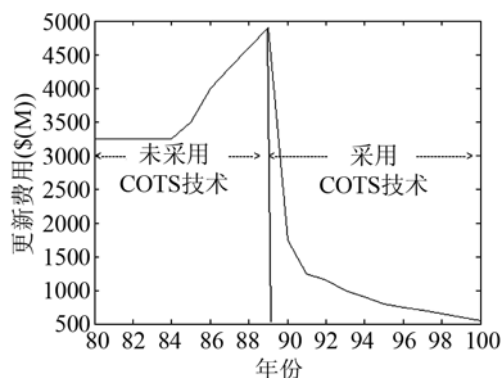


图 1 声呐信号处理机更新经费  
Fig.1 Renewal funds for sonar signal processors

### 2.2 声呐软件 COTS 技术

在声呐装备软件领域, 欧美声呐采用“多功能处理机中间件技术”, 将应用软件与底层硬件隔开, 保证了 COTS 硬件的“即插即用”和软件的可移植性。为了将 COTS 技术引入到信号处理算法与声呐功能改造中, 美军建立了一套声呐软件开发的严格流程 APB(Advanced Processing Build)<sup>[4]</sup>, 其方法如图 2 所示。

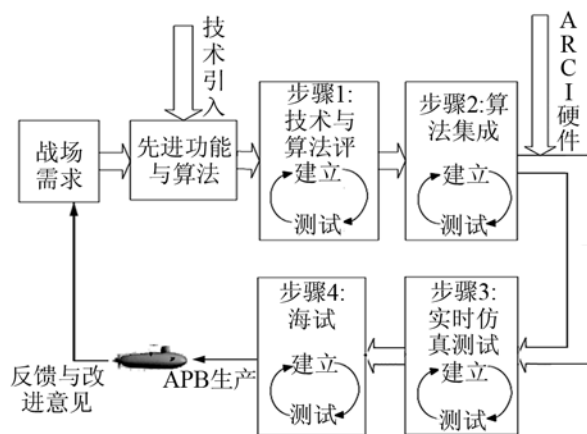


图 2 新功能及算法引进流程—APB  
Fig.2 Introduction of new functions and algorithms—APB  
(Advanced Processing Build)

APB 流程首先根据战场需求, 广泛引入各种先进的声呐应用功能与算法, 由海军专家进行技术与算法评估后, 可行的算法在合适的 ARC I 硬件支持下, 与已有的软件模块进行交联、整合与集成后,

采用海上实录数据进行仿真测试,最后海试成功的产品可进行 APB 生产并装备部队,根据部队反馈意见持续改进。

APB 流程不仅利用 COTS 技术解决了信号处理算法及声呐新功能的开发问题,而且在声呐领域建立了一种具有开放结构的商业模式,以不断吸收民用领域具有单项优势的技术。整个 ARCI 计划中,“洛克希德·马丁”公司改进了主被动球形阵以及高频被动线列阵的相关功能;数字资源公司改进了拖线阵功能;萨克斯大学应用研究实验室改进了高频主动线列阵的相关功能;霍克大学参与了各项功能与算法的测试工作<sup>[5]</sup>。据统计,美国采用 APB 流程的开放式体系结构后,声呐信号处理算法开发、更新周期缩短了 2/3,更新成本也显著降低。

3 COTS 技术在声呐装备中的应用分析

欧美国家已经在声呐系统软硬件中采用了大量的 COTS 技术,通过使用全新的处理器芯片、新型的多处理器系统的构架体系、多功能处理机中间件技术和 APB 软件流程,大大提高了声呐的探测能力和探测精度。我国水声装备的 COTS 技术应用总体上还处于起步阶段,在借鉴欧美国家先进经验的同时,应该根据本国国情,开展重点研究:

3.1 声呐硬件 COTS 技术

声呐硬件主要包括声呐基阵、前置端处理设备、信号处理设备、显控台和数据记录设备等。其中,声呐处理机是声呐系统硬件的核心部分,其通用化程度最高。因此,需重点针对声呐处理机上的 COTS 技术,开展以下方面的研究:

(1) 开发拥有自主知识产权的 DSP 芯片

声呐系统对信号处理机最主要的要求是运算性能。信号处理板上的处理芯片是声呐信号处理机的核心部件,研究具有更强浮点运算能力的处理器芯片是提高信号处理机运算能力的关键。随着民用市场上各种新型芯片不断涌现,TI 公司、ADI 公司、飞思卡尔半导体公司和 INTEL 公司等相继推出了包含多核 DSP、多核 CPU 和 GPU 等能提供超强浮点运算性能的芯片(见表 1),为新型高性能通用处理机创造了条件。

美英等发达国家的各种新型芯片不断涌现并应用于声呐信号处理机,有效地提高了声呐系统的信号处理能力。目前,我国声呐信号处理机也应重点开展拥有自主知识产权的 DSP 芯片以及在声呐

表 1 国外主要信号处理机类型表  
Table 1 Main types of foreign signal processors

| 序号 | 信号处理机名称      | 研制方      | 性能              |
|----|--------------|----------|-----------------|
| 1  | TMS320C6670  | TI 公司    | 4 内核,主频 1.2GHz  |
| 2  | TMS320C6678  | TI 公司    | 8 内核,主频 1.25GHz |
| 3  | MPC8640D     | ADI 公司   | 2 内核,主频 1.25GHz |
| 4  | Core™i5-540M | Intel 公司 | 2 内核,主频 1.25GHz |
| 5  | Core™i7-620M | Intel 公司 | 2 内核,主频 3.33GHz |

信号处理机领域应用的研究。

(2) 提高 COTS 元器件的适应性、匹配性和可变化性

分析美国早期 COTS 元器件发生故障的原因,50%以上的故障原因是由于各种环境因素所致。温度、振动、湿度造成的故障高达 43.58%,其中,由温度引起的故障占 22.2%,由振动引起的故障占 11.38%,由潮湿引起的故障占 10%。我国舰艇部署区域广,从北海到南海环境条件变化大,同一批次生产出来的装备可能部署在不同的海域,因此,环境条件对舰艇上的设备要求近乎苛刻<sup>[6]</sup>。

因此,必须开展对不同环境条件下舰艇上 COTS 元器件可靠性的研究;在选择元器件时,必须要求 COTS 元器件的优良性能,并经过充分测试,以满足舰(艇)载的要求。

3.2 声呐软件 COTS 技术

在声呐装备的发展过程中,软件起着举足轻重的作用。COTS 技术可使软件在预算和交付时间的约束下,达到高维护性和高度集成性。因此,如何将 COTS 产品引入声呐装备的开发成为声呐软件 COTS 技术中的关键问题。当前,我国水声装备上软件 COTS 技术应用较少,需要重点开展以下几方面研究:

(1) 开展基于 COTS 的声呐软件系统构架设计和研究

开发基于 COTS 的声呐软件系统的关键是将已经存在的软件组件及模块集成到声呐系统中,因此首先应该确立一个合理的软件构架,它必须满足以下基本要求:

- ① 有等级的分层结构;
- ② 与硬件更改隔离;
- ③ 即插即用的模块功能;
- ④ 可重复使用的应用程序;
- ⑤ 较高的可维护性;

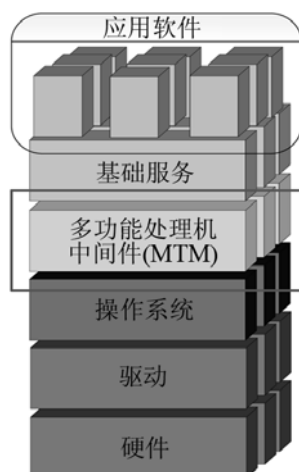


图3 声呐系统软件构架示意图

Fig.3 Schematic diagram of software architecture in sonar system

#### ⑥ 较高的开发生产力。

根据上述要求并结合欧美国家声呐系统软件构架上的经验，声呐软件系统应用代码与硬件之间应采用多层结构，如图3所示，它包括：

#### ① 板级驱动

板级驱动可对各种板卡的硬件功能提供统一的接口，它包括硬件初始化、中断的产生和处理、硬件时钟和计时器管理、局域和总线内存地址映射、内存分配等。该部分的COTS软件产品很多，例如VME驱动软件、中断处理程序等。

#### ② 操作系统

早期的声呐软件系统多采用专用的VxWorks等操作系统，可视化程度低，基于系统的编程困难。商用工作站或处理机的引入使得POSIX/Unix实时操作系统和Windows操作系统也随之得到应用。由于Unix实时操作系统和Windows操作系统支持的C/C++语言功能更强，且比Ada成本低，编程时间短，更具灵活性。因此，声呐系统在应用Ada语言的同时，可以开始采用C/C++语言编制软件。

#### ③ 多功能处理机中间件

“多功能处理机中间件”用于将应用软件与底层硬件隔开。这样，底层硬件和软件驱动的变化只关系到中间件的修改，而不影响复杂的应用软件。

“多功能处理机中间件”技术可实现软件功能模块独立于声呐硬件及网络协议，避免了每次硬件更新后花费大量的精力重新更改软件，保证了COTS硬件“即插即用”；同时也增强了应用软件的可移植性，在一型声呐上研制成功的应用软件也可应用于其它型号的声呐中，以缩短算法与功能的研发周期。

#### (2) 开展基于COTS的声呐信号处理算法的粒

度和并行度的研究

虽然采用商用芯片大大提高了浮点运算能力，但芯片的实际运算能力并不一定随着处理机内核的增多而变强。选用多核芯片，应充分考虑到声呐信号处理算法的粒度和并行度，否则将造成处理机大部分资源闲置，系统效率降低。以含24核芯片的信号处理机为例，随着声呐信号处理算法中串行程序比例的增大，系统的加速比将逐渐降低，如图4所示。

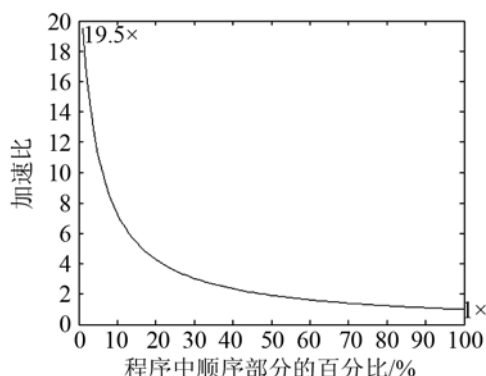


图4 声呐系统加速比随声呐信号处理算法中串行程序比例的变化

Fig.4 Variation of speedup ratio of sonar system with serial ratio in sonar processing algorithm

目前，我国的声呐信号处理专用软件也应采用市场上流行的商用并行软件开发平台，以此为基础展开声呐信号处理算法的粒度和并行度研究，采用并行编程方法和高效的COTS软件技术，有效提高声呐系统的处理能力。

#### (3) 开展开放式声呐系统软件开发流程的研究

美国的声呐系统软件APB开发流程在先进的信号处理算法与功能引入时，采用了基于COTS技术的能力更强、更灵活的开放式体系结构，众多民用算法与技术开发公司、学术机构、科研院所均可参与到潜艇声呐系统的APB流程中，大大缩短了算法与功能的研发周期。

我国在声呐系统设计中，也应采用商用公开标准，并不断吸收民用领域具有单项优势的技术(例如美军APB流程中的开放式技术引入)，以节省人力物力，促使软件和硬件提供单位优化设计，降低设计成本。

## 4 结 论

由国外声呐装备的发展情况可知，采用COTS技术不仅能加速新系统的开发，而且易于对现役装备进行升级改造，达到降低采办费用，缩短研制周期，提高产品性能的目的，应用前景广阔。

目前,我国声呐装备上 COTS 技术的应用还处于起步阶段,在借鉴欧美国家先进经验的同时,应该基于声呐装备软硬件体系构架,在充分分析 COTS 技术可行性的前提下,根据我国国情,利用与发展拥有自主知识产权的 COTS 软硬件技术,以提高整个声呐系统的技术水平。

#### 参 考 文 献

- [1] Boehm B, Abts C. COTS intergration: Plug and play[J]. Computer, 1999(1): 135-138.
- [2] George Marin, Brian Page. Acoustic rapid COTS insertion(ARCI) perspectives on DT&E[C]// NUWC Division Newport. Dec 7, 2006.
- [3] Richard Scott. Open for business: A new model for submarine sonar[C]// JANE's Navy International. MAR 1, 2006.
- [4] Morisio M, Seaman C B. COTS-based software development: Process and open issues[J]. Journal of Systems and Software, 2002, 61(3): 189-199.
- [5] Dr. Robert Zarnich. ASW Enterprise Open Architecture[C]// Briefing to Repository Workshop. Feb 21, 2006.
- [6] LIN Changcen. Risk analysis for COTS components used in naval equipment[J]. Electronic Components and Reliability, 2006, 24(6): 36-40.



#### 编者按:

本期刊登的《利用声音研究海洋》这篇文章,在征得作者本人同意后,由中国船舶重工集团公司第 726 研究所董阳泽研究员翻译。文中介绍了国外水声学近代进展和作者在海底声学反衍方面的工作,是一篇优秀论文。欢迎大家以后积极为本刊推荐类似的文章,以飨读者。

《声学技术》编辑部